

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-506943  
(P2008-506943A)

(43) 公表日 平成20年3月6日(2008.3.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 N 27/414 (2006.01)</b>	GO 1 N 27/30 3 O 1 X	5 F 1 4 O
<b>HO 1 L 29/78 (2006.01)</b>	HO 1 L 29/78 3 O 1 U	
	GO 1 N 27/30 3 O 1 Y	
	GO 1 N 27/30 3 O 1 K	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2007-520904 (P2007-520904)  
 (86) (22) 出願日 平成17年6月22日 (2005. 6. 22)  
 (85) 翻訳文提出日 平成19年2月16日 (2007. 2. 16)  
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2005/050095  
 (87) 国際公開番号 W02006/005967  
 (87) 国際公開日 平成18年1月19日 (2006. 1. 19)  
 (31) 優先権主張番号 0415633.7  
 (32) 優先日 平成16年7月13日 (2004. 7. 13)  
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

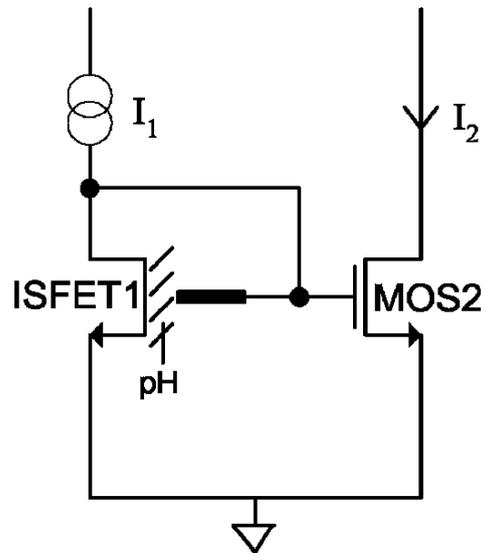
(71) 出願人 507012331  
 ディ・エヌ・エイ・エレクトロニクス・リミテッド  
 DNA ELECTRONICS LIMITED  
 イギリス、ダブリュ・シー・1・エヌ 2・イー・ピー ロンドン、ジョン・ストリート、10  
 (74) 代理人 100064746  
 弁理士 深見 久郎  
 (74) 代理人 100085132  
 弁理士 森田 俊雄  
 (74) 代理人 100083703  
 弁理士 仲村 義平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオン感応電界効果トランジスタを含む信号処理回路および流体の性質をモニタするための方法

(57) 【要約】

1つ以上のイオン感応電界効果トランジスタ、すなわちISFETと、弱反転領域で動作するよう前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスを与えるためのバイアス回路とを含む信号処理回路である。イオン感応電界効果トランジスタを用いて媒体の性質をモニタする方法は、弱反転領域のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスを与えるステップと、イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップと、前記性質に依存して異なるイオン感応電界効果の出力を分析するステップとを含む。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

1つ以上のイオン感応電界効果トランジスタ、すなわち I S F E T と、弱反転領域で動作するよう前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをかけるためのバイアス回路とを含む、信号処理回路。

## 【請求項 2】

イオン感応電界効果トランジスタのゲート電圧に比例した電流を生成するための手段を含む、請求項 1 に記載の回路。

## 【請求項 3】

前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタおよびバイアス回路はシングルチップ上に一体化される、請求項 1 または 2 に記載の回路。

10

## 【請求項 4】

信号処理回路は、使用中、イオン感応電界効果トランジスタが露出される媒体の水素イオン濃度を決定するよう構成される、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の回路。

## 【請求項 5】

信号処理回路は、前記または各々の I S F E T に結合された 1 つ以上の金属酸化膜半導体電界トランジスタ、すなわち M O S F E T と、弱反転モードで動作するよう前記または各々の M O S F E T にバイアスをかけるためのバイアス回路とを含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の回路。

## 【請求項 6】

I S F E T、M O S F E T、およびバイアス回路はシングルチップに一体化される、請求項 5 に記載の回路。

20

## 【請求項 7】

信号処理回路のイオン感応電界効果トランジスタは、電流ミラー配列の金属酸化物半導体トランジスタに結合される、請求項 5 または 6 に記載の回路。

## 【請求項 8】

イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化物半導体トランジスタは、実質的に電氣的に整合し、双方が弱反転モードで動作する、請求項 7 に記載の回路。

## 【請求項 9】

信号処理回路は、電流ミラーの出力を受取るよう、かつ電流ミラーの出力信号を反転するよう配列された乗算器分周回路を含み、それにより、水素イオン濃度に正比例する出力信号を与え、乗算器分周回路は、複数の M O S F E T と、弱反転領域で動作するようこれらの M O S F E T にバイアスをかけるためのバイアス回路とを含む、請求項 7 または 8 に記載の回路。

30

## 【請求項 10】

I S F E T はゲート上に膜コーティングを含み、膜は、膜が露出される電解質中の水素イオン濃度に対して感受性を有する、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の回路。

## 【請求項 11】

前記または各々の I S F E T は電流ミラー回路に構成される、請求項 1 に記載の回路。

## 【請求項 12】

イオン感応電界効果トランジスタを用いて媒体の性質をモニタする方法であって、弱反転領域のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをかけるステップと、イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップと、前記性質に依存して異なるイオン感応電界効果トランジスタの出力を分析するステップとを含む、方法。

40

## 【請求項 13】

イオン感応電界効果トランジスタの出力電流を分析する前記ステップは、モニタされているパラメータ値に比例する電流を導出するステップを含む、請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 14】

回路の 1 つ以上のスイッチがイオン感応電界効果トランジスタによって与えられる、デ

50

デジタル信号処理回路。

【請求項 15】

前記または各々の使各イオン感応電界効果トランジスタは、モニタされる媒体に使用中露出される、検体感受性のある膜を含む、請求項 14 に記載の回路。

【請求項 16】

回路は、イオン感応電界効果トランジスタトランジスタによって測定されたパラメータ値をしきい値と比較するためのコンパレータとして動作するよう構成され、回路は、インバータ構成に配置されたイオン感応電界効果トランジスタと金属酸化物半導体トランジスタとを含む、請求項 14 または 15 に記載の回路。

【請求項 17】

イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化物半導体トランジスタの一方は n - チャネル装置であって、他方は p - チャネル装置である、請求項 16 に記載の回路。

【請求項 18】

デジタル信号処理回路は、関数 AND、NAND、OR、XOR、および NOR のうち 1 つ以上を実現するよう配列される、請求項 14 または 15 に記載の回路。

【請求項 19】

デジタル信号処理回路は CMOS 論理を用いる、請求項 14 または 15 に記載の回路。

【請求項 20】

デジタル信号処理回路は、弱反転領域の前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをかけるためのバイアス手段を含む、請求項 14 から 19 のいずれかに記載の回路。

【請求項 21】

媒体のパラメータの値を入力の一つとして有する論理関数を評価する方法であって、方法は、

イオン感応電界効果トランジスタを論理回路のスイッチとして動作するよう構成するステップと、

イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップとを含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明の技術分野

本発明は、イオン感応電界効果トランジスタに関し、イオン感応電界効果トランジスタを利用する処理システムおよび制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

発明の背景

イオン感応電界効果トランジスタ (ISFET) は、化学感受性絶縁体の下に位置する遠隔ゲート (または「参照電極」) を有する MOSFET に基づく。絶縁体の表面は電解質に露出され、その上で測定がなされる。典型的な ISFET 使用のシナリオが図 1 に示される。絶縁体表面でのイオン電荷相互作用の電界効果は、図 2 に示されるように、ISFET ドレイン電流対ゲート - ソース電圧 ( $I_D - V_{GS}$ ) 特性にシフトを引起す。電解質に接触する絶縁体は、その化学的特性および特定のイオンに対する感度に従って選択される。

【0003】

電解質の pH、すなわち電解質の H<sup>+</sup> イオン容量を測定するよう設計される ISFET については、ゲートを絶縁するために、一般に窒化ケイ素膜および酸化アルミニウム膜が用いられる。イオン感受性膜の選択を通じて ISFET に H<sup>+</sup> 以外のイオンに対する感受性をもたせることができ、それによりイオン選択性の要素を加えることができる。膜が特定のイオン種に選択的になるよう調整される ISFET は、ChemFET として公知であり、膜表面の近傍に酵素を用いる、EnFET として知られるさらなる変形を有する。

10

20

30

40

50

調整されない  $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜を有する従来の pH - ISFET でさえ、 $\text{K}^+$  イオンおよび  $\text{Na}^+$  イオンに対し、限定的だが測定可能な感度を示すこともわかっている。とはいうものの、ISFET を pH 感知に応用する以外の実用的かつ商用的な応用例は稀である。しかしながら、以下の説明において、ISFET という用語は、特に pH センサと、一般に同様の原理で動作するすべてのイオン感受性 FET および酵素感受性 FET とを指すための両方に用いられる。

#### 【0004】

ISFET およびその対応する FET ベースのものの魅力は、それらがコンピュータチップの大量生産に利用される標準的製作プロセスと互換性を有し、そのため高い信頼性とコスト効率とをもって生産できる点である。ISFET 装置自体と同じチップ上に処理回路を一体化することができるのが重要である。感知装置自体に知能回路を一体化することは、理想的でない感知条件に対するロバスト性を必要とする、いわゆる「スマートセンサ」の開発に必要であり、かつ「オンチップ」で化学物質を区別するための電子工学部品をもたらす。

10

#### 【0005】

ISFET の通常運転モードは、 $I_D - V_{GS}$  特性の強反転領域である。この領域では、ゲート - ソース電圧はしきい電圧  $V_{TH}$  を超え、その結果ゲートの基礎となるチャネルの強反転となる。この運転モードについては、ドレイン電流はゲート電圧と二乗則または線形関係で関連する。

20

#### 【0006】

図 1 を再び参照すると、ISFET の参照電極に加えられたいかなる電圧も電解質を通じて絶縁体表面に容量結合され、ここでこの界面上のイオンからの pH 依存荷電がチャネル電流を変調して ISFET 変換特性に観察されるシフトを引起し、それによりそのしきい電圧  $V_{TH}$  を変調する。ISFET が一定のドレイン電流モード、一定のドレイン - ソース電圧で動作していると仮定すると、ゲート - ソース電圧はゲート界面における pH 感受性界面電位を直接に反映する。すなわち、

$$\text{pH} = \text{pH}_{\text{ca1}} + V_{\text{gs}} / S \quad (1)$$

であって、ここで  $\text{pH}_{\text{ca1}}$  は、37°C の校正液の pH であり、 $S$  は ISFET の pH 感度である。この関係式の導出は、2003 年 10 月トロントにおける IEEE センサ会議 (IEEE Sensor Conference) の P. ベーグベルド (P. Bergveld) による「ISFET、理論および実践 (ISFET, Theory and Practice)」にさらに詳述される。しかしながら、この手法は一定温度を仮定しており、いずれの実際的手法においても温度補償が適用されなければならない。

30

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

温度効果の測定値を補償するための従来の手法によれば、システムの温度依存性をモデル化し、pH と並行して温度を測定し、測定された pH をそのモデルおよび測定された温度に基づいて修正する。この手法は有効である一方、いくつかの不利益を有する。第 1 にこれは、典型的には ISFET と同じチップ上に一体化された温度感応レジスタを含む温度センサを与えることに依存している。第 2 には、修正を実行するために処理能力が与えられなければならない。第 3 に、測定された pH 値を修正するプロセスには時間がかかる。典型的なシステムでは、pH 値および温度値は、マイクロプロセッサまたは CPU を用いてさらなる処理を行う前に、そのデジタル等価物に変換される。必要であれば、デジタル制御出力は、制御される装置に適用される前にアナログ等価物に変換される。

40

#### 【0008】

ISFET が用いられ得る主要な領域は、移植可能かつ着用可能なセンサの領域であることが長年認識されてきた。前のパラグラフで概説された従来の ISFET 設計の要件は、小さく、電力消費が低レベルで、極めて正確であることを要求するセンサにはうまく適合しない。たとえば薬剤送達システムの制御など、特にセンサが制御ループの一部を形成

50

する場合には、センサも極めて正確でなければならない。

【課題を解決するための手段】

【0009】

発明の要約

本発明の第1の局面によれば、1つ以上のイオン感応電界効果トランジスタと、弱反転領域で動作するよう前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをつけるためのバイアス回路とを含む信号処理回路が与えられる。

【0010】

本発明の実施例は、前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタの出力が、イオン感応電界効果トランジスタ固有の特性によって、感知されたイオンについて温度効果が補償されるという重要な利点を有する。

10

【0011】

好ましくは信号処理回路は、イオン感応電界効果トランジスタのゲート電圧に比例した電流を生成するための手段を含む。

【0012】

好ましくは、前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタおよびバイアス回路は、シングルチップ上に一体化される。

【0013】

信号処理回路は、使用中、イオン感応電界効果トランジスタが露出される媒体の水素イオン濃度を決定するよう構成されてもよい。

20

【0014】

好ましくは、信号処理回路は、前記または各々のISFETに結合された1つ以上のMOSFET装置と、弱反転モードで動作するよう前記または各々のMOSFETにバイアスをつけるためのバイアス回路とを含む。より好ましくは、ISFET、MOSFET、およびバイアス回路は、シングルチップ上に一体化される。

【0015】

信号処理回路は1つ以上のバイポーラトランジスタを含んでもよい。

信号処理回路のイオン感応電界効果トランジスタは、電流ミラー配列の金属酸化物半導体トランジスタに結合されてもよい。好ましくは、イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化物半導体トランジスタは実質的に電氣的に整合され、双方が弱反転モードで動作する。

30

【0016】

本発明の一定の実施例では、ISFETはゲート上に膜コーティングを含み、膜は、膜が露出される電解質中の水素イオン濃度に対して感受性を有する。

【0017】

信号処理回路は、電流ミラーの出力を受取って電流ミラーの出力信号を反転するよう配置された乗算器分周回路を含んでもよく、それにより水素イオン濃度に正比例する出力信号を与える。

【0018】

本発明の第2の局面によれば、イオン感応電界効果トランジスタを用いて媒体の性質をモニタする方法が与えられ、方法は、

40

弱反転領域のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをつけるステップと、

イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップと、

前記性質に依存して変動するイオン感応電界効果トランジスタの出力を分析するステップとを含む。

【0019】

好ましくは、イオン感応電界効果トランジスタの出力電流を分析する前記ステップは、モニタされているパラメータ値に比例する電流を導出するステップを含む。

【0020】

本発明の第3の局面によれば、デジタル信号処理回路が与えられ、回路の1つ以上のス

50

イッチがイオン感応電界効果トランジスタによって与えられる。

【0021】

前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタは、モニタされる媒体に使用中露出される、検体感受性のある膜を含む。

【0022】

デジタル信号処理回路は、イオン感応電界効果トランジスタによって測定されたパラメータ値をしきい値と比較するためのコンパレータであってもよく、回路は、インバータ構成に配置されたイオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化物半導体トランジスタを含む。好ましくは、イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化物半導体トランジスタの一方はn-チャネル装置であって、他方はp-チャネル装置である。

10

【0023】

デジタル信号処理回路は、関数AND、NAND、OR、XOR、およびNORのうち1つ以上を実現するよう配列されてもよい。

【0024】

好ましくは、デジタル信号処理回路はCMOS論理を用いる。代替的には、NMOSまたはPMOS論理を用いてもよい。

【0025】

好ましくは、デジタル信号処理回路は、弱反転領域の前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをかけるためバイアス手段を含む。

【0026】

本発明の第4の局面によれば、媒体のパラメータの値を入力の1つとして有する論理関数を実現する方法が与えられ、方法は、

20

イオン感応電界効果トランジスタを論理回路のスイッチとして動作するよう構成するステップと、

イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップとを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

発明の詳細な説明および実施例

図3に示されたようなn-チャネルFETは4端末装置であって、p-型シリコン基板(B)と、ソース(S)およびドレイン(D)として公知の、高度にドーブされた2つのn-型ウェルとから構成される。シリコン表面は二酸化ケイ素絶縁体で覆われている。ポリシリコンゲート接触(G)は、チャネルとして公知の、ソースとドレインとの間の絶縁体表面下の領域内の電荷を制御する。

30

【0028】

ゲートに印加される電圧 $V_g$ が増大されるにつれて、正電荷は最初にチャネルから退けられ、可動電荷キャリアのない空乏層および正味の負電荷を形成する。ゲート電圧がさらに増大されるにつれて、この空乏層は、電子がソースおよびドレインからチャネルへ引出されて反転層を形成し始めるまで広がる。トランジスタは通常、一定のしきい電圧より高い電圧で動作し、チャネルがそこへ強反転されて、ドレインとソースとの間に電位差が与えられると、反転層中の可動電子はチャネルにわたりドリフトする。すでに述べたように、この運転モードについては、ドレイン電流はゲート電圧と二乗則または線形関係で関連する。

40

【0029】

いわゆる「弱反転」運転モードは、チャネルが消耗して薄い反転層だけが存在するよう、ゲート電圧をしきい電圧より低く維持することを含む。弱反転では、薄い反転層中の可動電荷はあまりにも少ないので、水平電界にわたるドリフト電流に有意に寄与することができない。弱反転でのドレイン電流は、ソースとドレインとの間の濃度勾配にわたっての電子の拡散に起因する。ソースおよびドレインにおける、ならびにチャネルに沿った電子濃縮が、それらの点においてボルツマン分布で障壁電位と関連するので、次にドレイン電流は、 $V_s$ 、 $V_d$ および $V_b$ に相対する $V_g$ に指数関数的に関連し、熱電圧 $U_T = kT /$

50

q または  $R T / F$  によってスケールが変化する。すなわち、以下のとおりである。

【 0 0 3 0 】

【 数 1 】

$$I_d = I_0 \exp(V_G/nU_T) [\exp(-V_S/U_T) - \exp(-V_D/U_T)] \quad (2)$$

【 0 0 3 1 】

ここで  $I_0$  は指数関数に前置される乗数であって、 $n$  はサブスレシヨルドスロープ係数である。

【 0 0 3 2 】

I S F E T については、参照電極は遠隔ゲートとして作用し、 $S i O_2$  絶縁体の上面に堆積した化学感受性膜は試料溶液に直接に露出される。絶縁体の下のチャンネルにおける反転の程度は、参照電極に印加される電圧のみならず、溶液のイオンからの電荷の感知膜上の蓄積にも依存する。膜表面におけるイオンの積層は、部位結合およびグイ - チャップマン (Gouy-Chapman) 二重層モデルによって試料中のイオン種の濃縮と関連する。膜表面上のいかなる正電荷の積層も、チャンネルの負電荷の積層によって反射されなければならないので、試料のイオン濃度の変化は I S F E T の弱反転ドレイン電流に直接反映される。

【 0 0 3 3 】

膜表面電荷と種濃縮との関係がわかっているということは、弱反転 I S F E T 電流が膜表面電荷に比例するという事実と合わせると、簡単な数学的操作を実行する電子回路を用いれば、Ch e m F E T s および E n F E T s においてさえ、種濃縮と電流との直接の関係を得ることができることを意味する。さらに、チャンネルの電子と溶液のイオンとの両方の、温度で変化するボルツマン分布が互いに打ち消すので、弱反転 I S F E T 電流のイオン濃度に対する感度は温度に依存しない。

【 0 0 3 4 】

弱反転領域においてバイアスされた M O S F E T のドレイン電流についての大信号方程式は、以下によって与えられる。

【 0 0 3 5 】

【 数 2 】

$$I_D = I_0 \exp\left(\frac{V_{GS}}{nU_T}\right) \left(1 - \exp\left(\frac{-V_{DS}}{U_T}\right)\right) \\ = \left[2n \frac{KW}{L} U_T^2 \exp\left(\frac{V_{GS} - V_{T0}}{nU_T}\right) \exp\left(\frac{(n-1)V_{BS}}{nU_T}\right)\right] \left(1 - \exp\left(\frac{-V_{DS}}{U_T}\right)\right) \quad (3)$$

【 0 0 3 6 】

ここで、 $KW/L$  であって、 $V_{T0}$  は、 $V_{BS} = 0$  のときのしきい電圧であり、 $n$  はサブスレシヨルドスロープ係数であって、 $V_{DS} > 4 U_T$  のとき飽和が仮定される。この方程式は弱反転された I S F E T にも適用される。なぜならば、 $pH$  に直線的に比例する電解質にわたる電位によって、すべての付加的な化学的現象が、そのしきい電圧の変調として表わされるからである。 $pH$  は指数関数的に水素イオン濃度と関連するので、水素イオン濃度と弱反転ドレイン電流との直接の関係を生成することができる。

【 0 0 3 7 】

水素イオン濃度は  $pH$  よりもさらに自然な信号処理用パラメータなので、電解質にわたる電位を抽出してそれを弱反転電流信号に変換するいかなる回路も、リアルタイムの化学信号処理にとって著しく興味深い。図 4 に示される電流ミラーは、このような回路の中で最も簡単なものである。

【 0 0 3 8 】

図 4 におけるように、ダイオード接続された I S F E T が電流ソースでバイアスをかけられ、その参照電極が M O S F E T のゲートに接続された場合、幾何学的かつ電氣的に整

10

20

30

40

50

合した装置を仮定して  $V_{DS}$  誤差を無視すると、ISFETとMOSFETとの間の  $V_{th}$  のために  $I_1$ 、 $I_2$  となり、これは (1) より  $V_{chem}$  と等しいことがわかる。

【0039】

完全に整合され、飽和した装置について方程式 (3) を用いると、以下のようになる。

【0040】

【数3】

$$\frac{I_{D2}}{I_{D1}} = \exp\left(\frac{V_{chem}}{nU_T}\right) \quad (4)$$

【0041】

10

pHと水素イオン濃度との対数関係式  $pH = -\log_{10}[H^+]$  に代入すると、電流比  $I_{D2}/I_{D1}$  が水素イオン濃度の公知のべき乗に比例し、温度効果に依存しないことがわかる。

【0042】

【数4】

$$\begin{aligned} \frac{I_{D2}}{I_{D1}} &= \exp\left(\frac{\gamma}{nU_T}\right) \exp\left(\frac{2.3U_T \alpha pH}{nU_T}\right) \\ &= \exp\left(\frac{\gamma}{nU_T}\right) \exp\left(\frac{-\alpha \ln[H^+]}{n}\right) \\ &= K_{chem} \cdot [H^+]^{-\alpha/n} \end{aligned} \quad (5)$$

20

【0043】

この重要な結果は、弱反転されたISFETのドレイン電流が、そのゲート-ソース電位およびバルクソース電位によって指数関数的に制御され、かつ、水素イオン濃度の公知のべき乗 ( $0 < \alpha < 1$  かつ  $n > 1$  なので、単位数未満である) に比例する、温度依存しないパラメータによって変化することを示す。

【0044】

【数5】

$$I_{D(ISFET)} = I_{D(MOS)} \cdot K_{chem}^{-1} \cdot [H^+]^{\alpha/n} \quad (6)$$

30

【0045】

弱反転領域においてバイアスされたISFETは、その温度非感受性に起因して、化学センサの変換段階で使用するのに理想的である。オンチップ処理回路について弱反転のMOSFETを用いることも有利である。なぜならば、ドレイン電流と端子電圧との指数関数的関係が生成されることができ、非常に簡単な低電力回路を用いた数学的操作を実現するからである。

【0046】

40

$[H^+]$  に正比例する出力電流を得るために、方程式 (5) のさらなる操作がいくつか必要である。相互コンダクタンスとサブスレシヨルドMOSトランジスタのドレイン電流との間に線形の関係を生じるトランスリニア回路を用いて (この関係を示すバイポーラトランジスタが代替的に、または追加的に用いられてもよいが)、電流信号に対して乗算、除算およびべき乗則関数を実行することができる。

【0047】

図5に示された回路は入力段の例として示され、その出力は、電解質のバルクにおいて  $H^+$  イオン (プロトン) の数に正比例する電流  $I_{OUT}$  である。この回路はここで「HCell」と呼ばれる。これは、真の化学的パラメータを直接得るために、弱反転の電界効果トランジスタの指数関数的挙動を生じることがいかに適切かを例示する。HCellに

50

用いられる I S F E T のイオン感受性膜は、その pH 感度が  $\gamma/n = 0.5$  を与えるように化学的に調整されている。

【 0 0 4 8 】

飽和を仮定して  $V_{DS}$  誤差を無視した場合、方程式 ( 3 ) から、I S F E T X 2 および M O S F E T M 1 の間のドレイン電流が以下のように関連付けられることが示され得る。

【 0 0 4 9 】

【 数 6 】

$$\frac{I_{x2}}{I_{b1}} = \frac{n_2 \beta_2}{n_1 \beta_1} \exp\left(\frac{-\Delta V_{T0}}{n U_T}\right) \exp\left(\frac{(n-1)(V_{b2} - V_{b1})}{n U_T}\right) \exp\left(\frac{V_{S1} - V_{S2}}{U_T}\right) \quad (7) \quad 10$$

$$\Delta V_{T0} = V_{T0(ISFET)} - V_{T0(MOS)} = V_{chem}$$

【 0 0 5 0 】

図 5 に示される回路については、等しい装置寸法およびグラウンドに接続されたバルクを備えた幾何学的かつ電氣的に整合した装置を仮定すると、方程式 ( 7 ) は以下のようになる。

【 0 0 5 1 】

【 数 7 】

$$\begin{aligned} \frac{I_{x2}}{I_{b1}} &= \exp\left(\frac{-\gamma - 2.3\alpha U_T pH}{n U_T}\right) \exp\left(\frac{-V_{ref}}{U_T}\right) \\ &= K_{chem} [H^+]^{0.5} \exp\left(\frac{-V_{ref}}{U_T}\right) \end{aligned} \quad (8) \quad 20$$

$$K_{chem} = \exp\left(\frac{-\gamma}{n U_T}\right) \quad 30$$

【 0 0 5 2 】

M 1 と X 2 との両方が弱反転で動作するようにバイアス点を設定するために、基準電圧  $V_{ref}$  が用いられる。pH 入力範囲に対する制限は、動作可能な弱反転領域の電圧範囲および pH 感度  $S$  である。約 400 mV の  $V_{GS}$  の範囲の弱反転領域については、50 mV / pH の感度を有する典型的な I S F E T は、7 または 8 pH 単位のダイナミックレンジを有する。

【 0 0 5 3 】

トランジスタ M 3 から M 6 はトランスリニア原理を用いてトランスリニアループを形成し、それについては以下の関係式が得られる。 40

【 0 0 5 4 】

【 数 8 】

$$I_{out} = \frac{I_{x2}^2}{I_{b2}}$$

【 0 0 5 5 】

( 8 ) からの結果に代入すると、以下のとおりである。

【 0 0 5 6 】

【数 9】

$$I_{out} = \frac{I_{b1}^2 \exp\left(\frac{-2V_{ref}}{nU_T}\right) K_{chem}^2 [H^+]}{I_{b2}} \quad (9)$$

【0057】

$I_{b1} = I_{b2}$  と設定すると、電流比  $I_{out} / I_{b1}$  と  $[H^+]$  との直接の関係式が得られる。

【0058】

10

【数 10】

$$\frac{I_{out}}{I_{b1}} = \exp\left(\frac{-2V_{ref}}{nU_T}\right) K_{chem}^2 [H^+] \quad (10)$$

【0059】

信号処理に対するこのレシオメトリックな手法によれば、装置が近傍にあると仮定して回路の温度依存性を減じる。絶対温度比例 (PTAT) 基準電圧  $V_{ref}$  を用い、 $K_{chem}$  と  $[H^+]$  が一次近似で温度依存しないと仮定すると、電流比が固有の温度補償を伴って水素イオン濃度に正比例することが理解される。

20

【0060】

図 5 の回路は、 $pH_{pzc} = 3$  かつ完全に線形の pH 感度 (すべての pH および温度について定数) を有する窒化ケイ素 ISFET についてのマーティノイア (Martinoia) マクロモデルの簡略バージョンを用いて、AMS0.8  $\mu$  技術でシミュレートされた。 $n \sim 1.43$  であって、かつ  $[H^+]$  が、 $T = 300 K$  において  $42.6 mV / pH$  の感度に対応して  $0.715$  であるよう選択されたことがわかっている。

【0061】

$V_{dd} = 1.8 V$ 、 $I_{b1} = I_{b2} = 10 nA$  であって、かつ動作領域を pH 7 中心にするために  $V_{ref}$  が  $50 mV$  になるよう選択された。図 6 に示された出力電流は、pH 5 から 9 について優れた線形を示し、そこで

30

【0062】

【数 11】

$$\frac{d \ln(I_{out})}{dpH} = -2.303 \pm 0.19.$$

【0063】

である。 $X_2$  および  $M_1$  については大きな寸法 ( $W = 432 \mu m$ 、 $L = 8 \mu m$ ) が選択されて、整合誤差の影響を最小限にする。トランジスタ  $M_3$  から  $M_6$  の  $W / L$  は  $40 \mu m / 8 \mu m$  であった。

【0064】

40

本願明細書に提示される原理を、各々が異なるイオン濃度をコード化するいくつかの ISFET を有する回路に拡張すると、積、商およびイオン濃度のべき乗則関係を伴ういかなる化学反応式もリアルタイムで処理することが可能になる。バルクまたは「バックゲート」をトランスリニア操作に対する第 2 の入力として使用することによって ISFET の 4 つの端子すべてを利用することは、これらの原理の柔軟性をさらに高める。さらに、キャパシタを含むことにより、反応動力学微分方程式の分野全体に対してこの原理を広げる。

【0065】

ISFET - MOSFET ミラーは最も簡単な電流モード入力段であって、化学的現象によってもたらされたしきい電圧変調を電流に変換することがいかに適切かを示すために

50

ここに示されている。この構成中のMOSFETを、ほぼpH非感受性のISFET(REFETとして公知である)に置換することにより、ソリッドステート疑似参照電極の使用が可能になる。なぜならば不安定で未知の電極電位がISFETとREFETとの両方に共通しており、かつ電流ミラートポロジで打ち消されるからである。しきい電圧  $V_{TH}$  の差は、ISFETとMOSFETとの間でよりも、ISFETとREFETの間でより小さく、 $V_{DS}$ 誤差を減少させ、必要な  $V_{bias}$  を減じ、そのために消費電力を減じる。整合を向上することも可能である。より高いSNRを有するより強固な回路については、完全微分入力段が用いられるべきである。

【0066】

膜の選択性を用いた化学的識別を越えたトランジスタ適用例の弱反転動作に基づくスマートセンシングの概念は、以下を含む：

- ・リアルタイム反応モニタリングおよび分析的データ処理
- ・DNA塩基配列決定
- ・当量点に達するよりもかなり前の、求められる分析的な情報を抽出するための動力学モデルを用いた高速の酸塩基滴定
- ・調整可能なしきい値を備えた論理(真/偽)装置としてISFETおよび他のセンサを直接用いた「化学的決定木」の実現
- ・血液および尿の代謝物質比率のリアルタイムのモニタリングを用いた医学的診断
- ・神経ブリッジ
- ・不純物検出。

【0067】

弱反転で動作するISFETは、トランスデューサ入力段に使用するのに好適であることに加えて、化学的に関連する信号のデジタル処理のための基礎的なビルディングブロックを与えることができる。

【0068】

図7に示された標準的なCMOSインバータは、弱反転領域で動作した場合、図8に示される電圧変換特性を有する。弱反転領域については、飽和において、 $V_{BS} = 0$ と仮定すると、ドレイン電流は以下によって与えられる。

【0069】

【数12】

$$I_D = 2n\beta U_T^2 \exp\left(\frac{V_{GS} - V_{T0}}{nU_T}\right) \quad (11)$$

【0070】

ここで  $n$  はサブスレショルドスロープパラメータであり、 $\beta = KW/L$  であって、 $U_T$  は熱電圧、 $V_{T0}$  は固有のしきい電圧である。

【0071】

スイッチングしきい値  $V_{inth}$  では、 $M1$  と  $M2$  とは等しいドレイン電流を有する。

【0072】

【数13】

$$V_{inth} = \frac{V_{DD} - |V_{T0p}| + \ln\left(\frac{I_m}{I_{sp}}\right)V_{T0n}}{1 + \ln\left(\frac{I_m}{I_{sp}}\right)} \quad (12)$$

【0073】

ここでNMOSおよびPMOSについてのサブスレショルドスロープは等しいと仮定される。

10

20

30

40

50

【0074】

図7のNMOS M1がn-チャネルISFETと置換されれば、そして、 $V_{th(ISFET)} = V_{th(MOS)} + V_{chem}$ であれば、スイッチングしきい値は以下ようになる。

【0075】

【数14】

$$V_{inh} = \frac{V_{DD} - |V_{TOP}| + \ln\left(\frac{I_{sn}}{I_{sp}}\right)[V_{TON} + V_{chem}]}{1 + \ln\left(\frac{I_{sn}}{I_{sp}}\right)} \quad (13)$$

10

【0076】

すなわち、スイッチングしきい値は  $pH < 11$  については低下し、 $pH > 11$  については増大する。

【0077】

図9は、pHを変えることにより起こされた、スイッチングしきい値におけるシフトを示す。この特性の結果は、 $v_i$ が固定されている場合、スイッチングはもっぱらpHの変化によって起るということである。さらに、図10に示されるように、このスイッチングが生じるpHしきい値は、 $v_i$ の選択によって設定することができる。例示のために、 $v_i$ が0Vに固定された場合はpH 4について出力が大きく、 $v_i = 100\text{mV}$ に固定された場合はpH 8について出力が大きいことが示される。

20

【0078】

その意義は、図7の回路が、ゲートの固定入力電圧  $v_i$  によって規定されるしきい値より高いpHについて出力が大きいコンパレータとして用いられ得ることにある。

【0079】

論理ゲートもまた弱反転領域で動作するISFETを用いて構築されてもよい。図11の回路では、たとえば、 $V_{GA}$ はpHしきい値  $p_{thA}$ を設定し、 $V_{GB}$ は  $p_{thB}$ を設定する。n-チャネルISFETは  $pH < p_{th}$  について飽和している。両方のISFETが飽和している時、出力Yは単に0である。NAND真理表に示されるように、他のすべての状態について出力は1である。別の観点から見ると、出力が  $pH_A > p_{thA}$  OR  $pH_B > p_{thB}$  のとき高いということがいえる。

30

【0080】

同様の解析によって、NOR真理表から推定できるように(ここでも  $V_{GA}$ がpHしきい値  $p_{thA}$ を、 $V_{GB}$ が  $p_{thB}$ を設定すると仮定して)、図12の回路の出力は、 $pH_A > p_{thA}$  AND  $pH_B > p_{thB}$  の場合にのみ高い。

【0081】

ISFETは、ゲート入力の0および1によってではなく、選択されたしきい値よりも「<」または「>」であるpHによってトリガされ、基礎的な論理ゲートを実現するために用いることができることが示された。したがって、ISFETは、より複雑な論理関数の直接の実現に好適である。

40

【0082】

このようなデジタル回路を形成するISFET/MOSFETのための好ましい運転モードが弱反転モードである一方、これは不可欠ではなく、代替的に飽和モードで動作してもよい。回路は、弱反転モード装置および飽和モード装置の組み合わせを用いてもよい。

【0083】

当業者には、本発明の範囲から逸脱することなく、上述の実施例にさまざまな変更がなされ得ることが認識されるだろう。1つの変形例では、上述されたシングルゲートISFETは、マルチゲートISFETと置換される。別の変形例では、装置の付加的な入力として「バックゲート」または基板が用いられる。

【0084】

50

ISFET（および関連する回路の他のMOSFET）のゲートにキャパシタを加えることにより、瞬間コンパディングシステムを含む「動的な」数学的システムが生成され得、したがって特性を大信号非線形時間ドメイン生化学的機能、たとえばログドメインフィルタおよびプロセッサに変換することがさらに認識されるであろう。このような機能は、弱反転MOSFETの指数関数的/対数的な特性に依存する。

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】典型的な使用シナリオにおけるISFETを概略的に示す図である。

【図2】図1のISFETの $I_D - V_{GS}$ 特性をさまざまなpHレベルで示す図である。

【図3】p-チャネルシリコンMOSFETを概略的に示す図である。

10

【図4】ISFETを含む電流ミラーを示す図である。

【図5】水素イオン濃度を測定するためのHCEIIを示す図である。

【図6】図5のHCEIIのIV特性を示す図である。

【図7】CMOSインバータを概略的に示す図である。

【図8】図7のインバータのスイッチング特性を示す図である。

【図9】ISFETを含むCMOSインバータのpHを変更することにより起こされるスイッチングしきい値のシフトを示す図である。

【図10】異なる入力電圧におけるISFETインバータのスイッチング特性を示す図である。

【図11】ISFETベースのNANDゲートおよび対応する真理表を示す図である。

20

【図12】ISFETベースのNORゲートおよび対応する真理表を示す図である。

【図1】

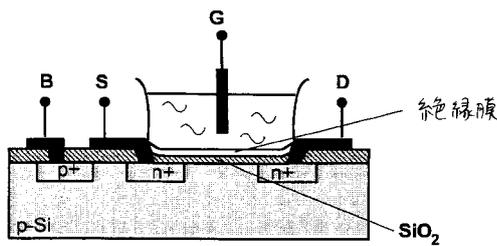


Figure 1

【図3】

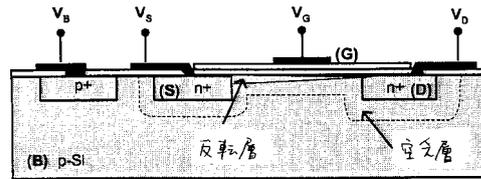


Figure 3

【図2】

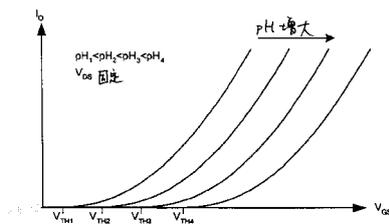


Figure 2

【 図 4 】

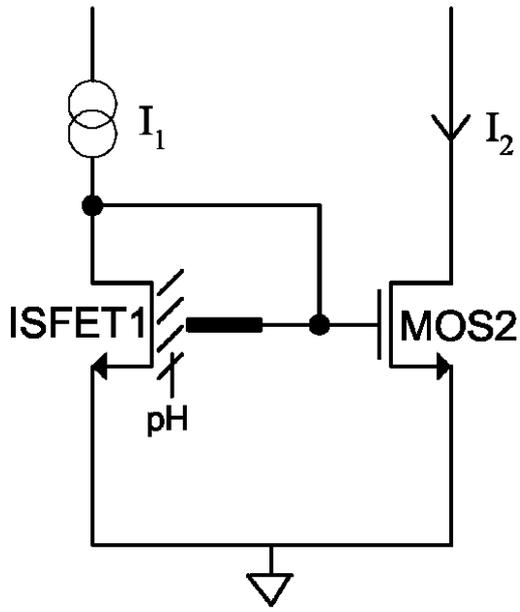


Figure 4

【 図 5 】

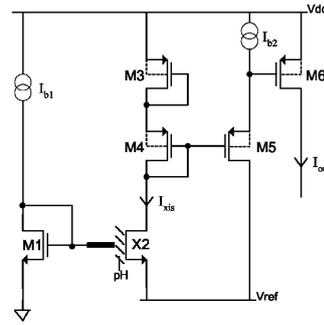


Figure 5

【 図 6 】

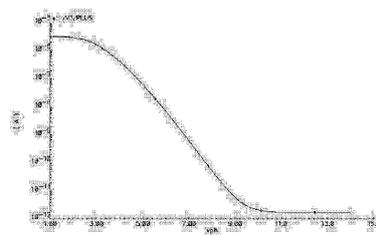


Figure 6

【 図 7 】

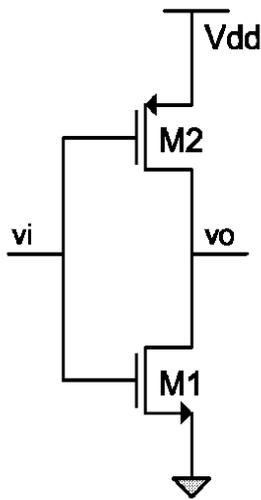


Figure 7

【 図 8 】

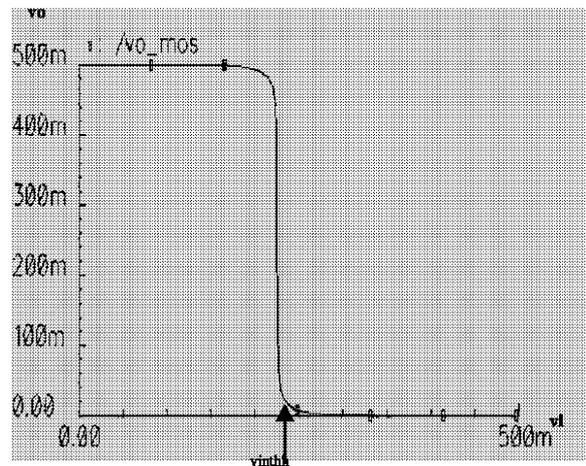


Figure 8

【 図 9 】

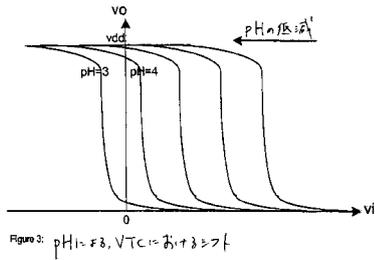


Figure 9

pH	Vinth (mV)
1	-63.5
2	-37.6
3	-11.63
4	14.24
5	40.0
6	65.8
7	91.7
8	117.7
9	143.7
10	169.7
11	195.7
12	221.7
13	247.6
14	273.6

【 図 1 1 】

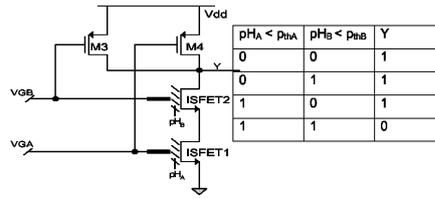


Figure 11

$pH_A < p_{thA}$	$pH_B < p_{thB}$	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

【 図 1 2 】

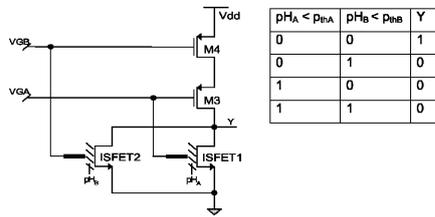


Figure 12

$pH_A < p_{thA}$	$pH_B < p_{thB}$	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

【 図 1 0 】

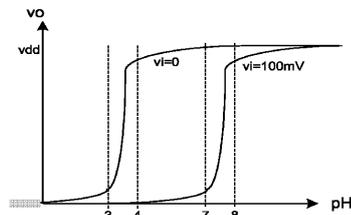


Figure 10

【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成18年7月21日 (2006.7.21)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

イオン感応電界効果トランジスタと、イオン感応電界効果トランジスタのための参照電極と、ゲートが参照電極に結合された金属酸化膜半導体電界トランジスタと、弱反転領域で動作するよう、かつ出力電流信号を与えるよう、イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化膜半導体電界トランジスタにバイアスをつけるためのバイアス回路とを含む、信号処理回路。

【 請求項 2 】

イオン感応電界効果トランジスタ、金属酸化膜半導体電界トランジスタ、およびバイアス回路は、シングルチップ上に一体化される、請求項 1 に記載の回路。

【 請求項 3 】

信号処理回路は、使用中、イオン感応電界効果トランジスタが露出される媒体の水素イオン濃度を決定するよう構成される、請求項 1 または 2 のいずれかに記載の回路。

【 請求項 4 】

前記イオン感応電界効果トランジスタは、電流ミラー配列の前記金属酸化膜半導体トランジスタに結合される、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の回路。

【 請求項 5 】

イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化膜半導体トランジスタは、実質的に電

氣的に整合する、請求項 4 に記載の回路。

【請求項 6】

信号処理回路は、電流ミラーの出力を受取るよう、かつ電流ミラーの出力信号を反転するよう配列された乗算器分周回路を含み、それにより、水素イオン濃度に正比例する出力信号を与え、乗算器分周回路は、複数の金属酸化膜半導体トランジスタと、弱反転領域で動作するようこれらの金属酸化膜半導体トランジスタにバイアスをかけるためのバイアス回路とを含む、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の回路。

【請求項 7】

イオン感応電界効果トランジスタはゲート上に膜コーティングを含み、膜は、膜が露出される電解質中の水素イオン濃度に対して感受性を有する、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の回路。

【請求項 8】

イオン感応電界効果トランジスタを用いて媒体の性質をモニタする方法であって、金属酸化膜半導体トランジスタのゲートをイオン感応電界効果トランジスタのための参照電極に結合するステップと、

弱反転領域のイオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化膜半導体トランジスタにバイアスをかけるステップと、

イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップと、

前記性質に依存して異なるイオン感応電界効果トランジスタの出力電流を分析するステップとを含む、方法。

【請求項 9】

回路の 1 つ以上のスイッチがイオン感応電界効果トランジスタによって与えられる、デジタル信号処理回路。

【請求項 10】

前記または各々の使各イオン感応電界効果トランジスタは、モニタされる媒体に使用中露出される、検体感受性のある膜を含む、請求項 9 に記載の回路。

【請求項 11】

回路は、イオン感応電界効果トランジスタトランジスタによって測定されたパラメータ値をしきい値と比較するためのコンパレータとして動作するよう構成され、回路は、インバータ構成に配置されたイオン感応電界効果トランジスタと金属酸化膜半導体トランジスタとを含む、請求項 9 または 10 に記載の回路。

【請求項 12】

イオン感応電界効果トランジスタおよび金属酸化膜半導体トランジスタの一方は n - チャネル装置であって、他方は p - チャネル装置である、請求項 11 に記載の回路。

【請求項 13】

デジタル信号処理回路は、関数 AND、NAND、OR、XOR、および NOR のうち 1 つ以上を実現するよう配列される、請求項 9 または 10 に記載の回路。

【請求項 14】

デジタル信号処理回路は CMOS 論理を用いる、請求項 9 または 10 に記載の回路。

【請求項 15】

デジタル信号処理回路は、弱反転領域の前記または各々のイオン感応電界効果トランジスタにバイアスをかけるためのバイアス手段を含む、請求項 9 から 14 のいずれかに記載の回路。

【請求項 16】

媒体のパラメータの値を入力の一つとして有する論理関数を評価する方法であって、方法は、

イオン感応電界効果トランジスタを論理回路のスイッチとして動作するよう構成するステップと、

イオン感応電界効果トランジスタを前記媒体に露出するステップとを含む、方法。

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/GB2005/050095
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01N27/414		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01N		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 793 825 A (BENJAMIN ET AL) 27 December 1988 (1988-12-27) column 9, line 12 - column 11, line 22 column 14, line 26 - column 15, line 32 figures 9,10,13,15-17	1-13
X	MARTINOIA S ET AL: "A behavioral macromodel of the ISFET in SPICE" SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 62, no. 3, March 2000 (2000-03), pages 182-189, XP004194214 ISSN: 0925-4005 abstract page 182, left-hand column page 186, left-hand column ----- -/-	1-4,10, 12,13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 31 August 2005		Date of mailing of the international search report 22.11.2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Meyer, F

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/GB2005/050095

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DATABASE COMPENDEX [Online] ENGINEERING INFORMATION, INC., NEW YORK, NY, US; 2002. PURUSHOTHAMAN S ET AL: "Towards fast solid state DNA sequencing" XP002339825 Database accession no. E2002287011518 abstract -& PURUSHOTHAMAN S ET AL: "Towards Fast Solid State DNA Sequencing" PROC IEEE INT SYMP CIRCUITS SYST; PROCEEDINGS - IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS 2002, vol. 4, 2002, pages IV/169-IV/172, XP002342470 page 170, right-hand column - page 171, left-hand column -----	1-4,10, 12,13
X	WO 03/073088 A (TOUMAZOU, CHRISTOFER; PURUSHOTHAMAN, SUNIL) 4 September 2003 (2003-09-04) page 9 -----	1,4,10, 12
X	WO 2004/040291 A (CORNELL RESEARCH FOUNDATION, INC; KAN, EDWIN, C; MINCH, BRADLEY, A) 13 May 2004 (2004-05-13) page 9, line 6 - page 10, line 7 figure 8 -----	1-3,5,6, 12,13
P,X	SHEPHERD L ET AL: "Weak Inversion ISFETs for ultra-low power biochemical sensing and real-time analysis" SENSORS AND ACTUATORS B, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 107, no. 1, 27 May 2005 (2005-05-27), pages 468-473, XP004900008 ISSN: 0925-4005 the whole document -----	1-13

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/GB2005/050095**Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

1-13

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/GB2005/050095

## FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

## 1. claims: 1-13

A signal processing circuit comprising one or more ion sensitive field effect transistors (claim 1) and a method of monitoring a property of a medium using an ion sensitive field effect transistor (claim 12), the ion sensitive field effect transistor being biased to operate in the weak inversion region.

---

## 2. claims: 14-21

A digital signal processing circuit wherein one or more switches of the circuit being provided by an ion sensitive field effect transistor (claim 14); and a method of evaluating a logical function, inter alia comprising configuring an ion sensitive field effect transistor to operate as a switch of a logic circuit (claim 21).

---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/GB2005/050095

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4793825	A	27-12-1988	CA 1262847 A1 14-11-1989
			DE 3570600 D1 06-07-1989
			EP 0178769 A2 23-04-1986
			JP 61072712 A 14-04-1986
WO 03073088	A	04-09-2003	EP 1379863 A2 14-01-2004
			GB 2389424 A 10-12-2003
			JP 2005518541 T 23-06-2005
			US 2004134798 A1 15-07-2004
WO 2004040291	A	13-05-2004	AU 2003285092 A1 25-05-2004

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100096781

弁理士 堀井 豊

(74)代理人 100098316

弁理士 野田 久登

(74)代理人 100109162

弁理士 酒井 将行

(72)発明者 トマーソー, クリストファー

イギリス、オー・エックス・2 0・エイ・ティ オックスフォードシャー、オックスフォード、バレット・ストリート、8

(72)発明者 プレマノード, ブサナ

イギリス、エス・ダブリュ・7 2・エイ・ゼッド ロンドン、ケンジントン・キャンパス、インペリアル・カレッジ・デパートメント・オブ・エレクトリカル・アンド・エレクトロニック・エンジニアリング・サウス内

(72)発明者 シェパード, レイラ

イギリス、ケイ・ティ・1 3 8・ユー・エックス サリー、ワイブリッジ、ブルックランズ・レーン、キャランデル

Fターム(参考) 5F140 AB01 AC37 BD07 BD11